

ESTUDOS DE BENEFICIAMENTO DE FELDSPATOS EM ROCHAS ALCALINAS¹

Paulo Fernando Almeida Braga²

João Alves Sampaio³

Laurindo de Salles Leal Filho⁴

RESUMO

Estudos tecnológicos foram realizados para o aproveitamento do feldspato contido em finos de pedreira (nefelina sienito) gerados no processo de produção de brita para construção civil. Para o seu aproveitamento na indústria cerâmica, que foi o objetivo dos estudos, o feldspato deverá ter requisitos de qualidade, isto é, teor de ferro (Fe_2O_3) menor que 0,5% e alcális total ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) mínimo de 12%.

A análise química da amostra global mostrou um teor de Fe_2O_3 de 3,3% e os estudos de caracterização mineralógica mostraram que os minerais portadores de ferro, presentes na amostra, são: pirita, oxi-hidróxidos de ferro (limonita) e mica biotita.

Os ensaios de flotação realizados com ácido oléico, como coletor, mostraram que é possível obter um produto com teor de Fe_2O_3 da ordem de 0,77%. Os resultados da lixiviação sulfúrica revelaram ser possível reduzi-lo para 0,30%. A recuperação em massa foi 60%.

Palavras chave: nefelina sienito, feldspato, flotação

¹ Trabalho a ser apresentado ao XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada à Tecnologia Mineral

² Eng. Químico do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

³ Eng. Minas D.Sc. do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

⁴ Prof. Dr. da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia de Minas

INTRODUÇÃO

As rochas alcalinas são mundialmente utilizadas na indústria cerâmica de revestimento (pisos e azulejos) e louças sanitárias, tanto na fabricação de massas cerâmicas como no acabamento superficial (esmaltes).

No Brasil, sua aplicação é restrita, e geralmente limitada a seu estado bruto, sem nenhum beneficiamento mineral, como no caso do fonolito de Lajes - SC e do granitóide de Jundiá - SP, que tem suas aplicações limitadas na fabricação de massas cerâmicas. O alto teor de Fe_2O_3 desses minerais é um fator limitante a sua utilização no acabamento superficial (formação da fase vítrea). [1, 2]

Nefelina sienito é uma rocha ígnea alcalina, com ausência de quartzo livre, constituída de feldspatos (microclínio e albita), feldspatóides (nefelina sodalita), dolomita, monazita/zirconita e minerais portadores de ferro. Sua principal utilização é como fonte de alumina e álcalis para indústria cerâmica. No entanto, para o seu aproveitamento comercial, é necessário uma etapa de beneficiamento mineral de forma a enquadrá-la dentro dos requisitos de qualidade exigidos pelo consumidores. [3]

O presente estudo objetiva a purificação dos feldspatos contido nos "finos" de pedra de nefelina sienito (< 9 mm) que são gerados durante a etapa de lavra e produção da brita (cominuição e peneiramento), de modo a atingir uma utilização mais nobre: $Fe_2O_3 < 0,5\%$ e conteúdo de álcalis ($K_2O + Na_2O$) $> 12\%$. [4]

AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO

Neste estudo foram utilizados os finos (<9,0 mm) de nefelina sienito, sub-produto do processo de produção de brita da Pedreira Vigné, do maciço alcalino do Medanha, localizado na divisa dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. Foram coletadas duas amostras de finos de brita com diferentes granulometrias. A primeira amostra, denominada "pedrisco" (fração grossa), tem granulometria compreendida no intervalo entre -9 mm e + 6 mm. A segunda amostra, denominada "pó de pedra" (fração fina), tem granulometria menor do que 6,0 mm.

Inicialmente foi feita uma mistura das frações grossa e fina na proporção de 1:2, obtendo-se uma amostra média representativa do subproduto descartado pelo processo. Essa amostra foi rebritada a uma granulometria 100% abaixo de 1,7 mm em um britador de rolos Denver (10" x 6"). Em seguida, foi feita uma pilha de homogeneização, de onde foram tomadas alíquotas de 1,0 kg para análises químicas e mineralógicas, ensaios de beneficiamento por flotação e lixiviação sulfúrica. O diagrama em blocos da Figura 1 ilustra o procedimento utilizado na preparação das amostras.

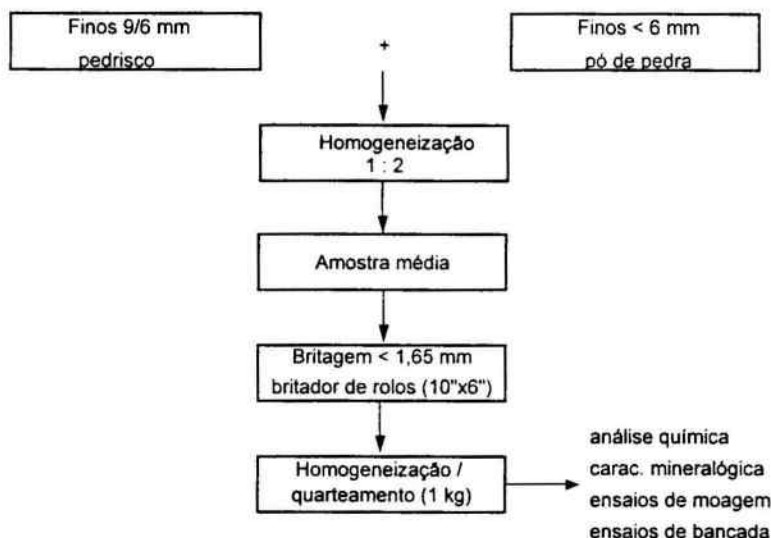


Figura 1 - Procedimentos para preparação das amostras

ESTUDOS MINERALÓGICOS

Os estudos de caracterização mineralógica foram conduzidos com auxílio de difração de raios-X, separação em líquidos densos, microscopia eletrônica de varredura e análises químicas.

O minério caracterizado é um nefelina sodalita sienito e a composição mineralógica calculada para amostra média, encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição mineralógica do minério de nefelina sienito

Minerais	%
feldspato alcalino	90,7
pirita	3,2
dolomita	3,1
nefelina/sodalita	2,5
monazita	0,2
biotita	0,1
limonita	0,1

O feldspato alcalino está representado por albita (sódico) e ortoclásio/microclínio (potássico), numa relação de aproximadamente 1:0,6, ambos contendo algum cálcio. [5, 6, 7]

A partir da estimativa da quantidade de pirita associada aos feldspatos nos flutuados e na amostra como um todo, calculou-se o grau de liberação desse mineral, conforme resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Grau de liberação da pirita em relação aos feldspatos na amostra média

Frações, mm	Grau de liberação (%)
+ 295	7
+ 208	32
+ 147	81
+ 104	90
+ 74	100
+ 53	100

ANÁLISE QUÍMICA DA AMOSTRA MÉDIA

Foram feitas análises químicas da amostra média e de todos os produtos beneficiados com o objetivo de avaliar a seletividade das operações unitárias de purificação do feldspato e também calcular a recuperação dos principais compostos ou elementos de interesse na pesquisa: % Fe_2O_3 , K_2O e Na_2O . A análise química foi realizada por espectroscopia de absorção atômica no aparelho Varian AA-6, após abertura das amostras com ácidos nítrico, fluorídrico e sulfúrico.

A análise química da amostra média (global) de nefelina sienito apresentou a composição química contida na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química da nefelina sienito, % em peso da amostra média

Na_2O	K_2O	CaO	MgO	SO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2
7,24	5,57	2,60	0,60	1,42	23,80	3,30	58,40

Verifica-se na Tabela 3 que o teor de alcális (Na_2O e K_2O) encontra-se dentro dos requisitos exigidos pela indústria cerâmica, que é maior que 12%, mas que o teor de Fe_2O_3 de 3,3% encontra-se fora das especificações que é menor que 0,5% para massas cerâmicas e 0,1% para sua utilização no recobrimento (esmalte).

ESTUDOS TECNOLÓGICOS EM ESCALA DE BANCADA

Os ensaios de moagem, tiveram por objetivo de se determinar qual o tempo necessário para cominuição da amostra média até 90% <104 μm , que é a granulometria onde 90% da pirita (principal contaminante) encontra-se liberada, conforme estudos mineralógicos. Esses ensaios de moagem foram conduzidos a úmido em moinho de barras de laboratório (300 mm x 165 mm), fabricado em aço inoxidável, e foram utilizadas 10 barras de diâmetro de 20 mm. Os testes foram feitos com amostras de 1,0 kg e a percentagem de sólidos em peso na polpa de moagem foi 50%.

Os estudos de flotação foram realizados em uma célula DENVER MOD D12 de laboratório, com amostras de 1,0 kg em cada ensaio em cuba com 5 litros. Os reagentes utilizados nos ensaios foi composto por amil xantato de potássio (AXK), ácido oléico e sulfonatos de petróleo (Aero 840, Aero 826 e Aero 801R/825) como coletores. Optou-se pela flotação reversa dos minerais portadores de ferro, utilizando-se uma etapa *rougher* e uma etapa *scavenger*. Deste modo, o concentrado final de feldspato será o produto afundado da flotação na etapa *scavenger*. Foram utilizados carbonato de sódio, hidróxido de sódio e/ou ácido sulfúrico como reguladores de pH. Metil isobutil carbinol (MIBC) e óleo de pinho foram utilizados como espumantes.

O concentrado obtido pelo processo de flotação foi lixiviado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) em um agitador de laboratório adaptado DENVER MOD D12, para purificação do concentrado final.

O diagrama em blocos da Figura 2 apresenta a seqüência dos ensaios tecnológicos em bancada.

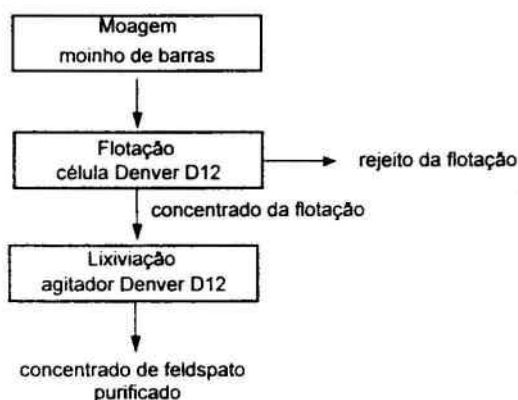


Figura 2 - Seqüência dos ensaios tecnológicos em escala de bancada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de moagem em laboratório

Com o conhecimento dos resultados da caracterização mineralógica e da granulometria de liberação da pirita, foram realizados ensaios de moagem com o objetivo de se determinar qual o tempo necessário para cominuição da amostra média até 90% menor que $104 \mu m$ (granulometria de liberação da pirita). Esse tempo de moagem em laboratório foi de 40 min para as condições descritas na metodologia.

As distribuições granulométricas do material moído na alimentação da flotação, realizada no analisador, *Sedigraph 5100*, esta apresentada no gráfico da Figura 3.

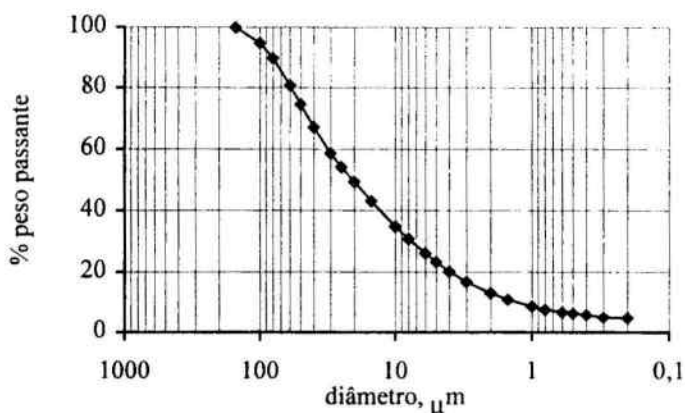


Figura 3 - Distribuição granulométrica da alimentação da flotação (amostra moída)

Ensaio preliminar de flotação em bancada

Os ensaios preliminares de flotação foram conduzidos com uma etapa *rougher* e uma *scavenger*, sendo o rejeito dessa última considerado o concentrado de feldspato. Foi realizada uma série de ensaios em bancada com objetivo de verificar qual o coletor que proporcionava melhores recuperações do Fe_2O_3 . A Tabela 4 apresenta o sistema de reagentes e concentrações utilizados nos testes preliminares. [8, 9]

Tabela 4 - Sistema de reagentes utilizados nos ensaios preliminares

Coletores	Concentração (g/t)		Espumante (MIBC) (g/t)		pH
	<i>rougher</i>	<i>scavenger</i>	<i>rougher</i>	<i>scavenger</i>	
Acido oléico	300	150	100	50	8,0
AXK	300	150	100	50	8,0
Aero 840	300	150	100	50	3,0
Aero 826	300	150	100	50	3,0
Aero 801R/825 (1:1)	300	150	100	50	3,0

Através do gráfico da Figura 4, observa-se que o teste de flotação em que se utilizou o ácido oléico como coletor promoveu recuperações de 85% em Fe_2O_3 para uma recuperação em massa de 60%.

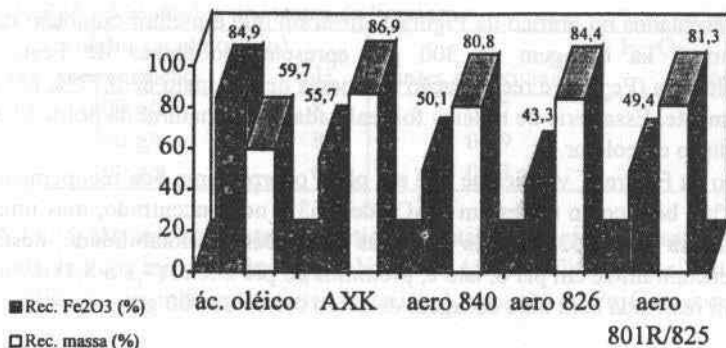


Figura 4 - Resultados dos ensaios preliminares de flotação

Ensaios subsequentes de flotação em bancada

A partir dos resultados obtidos nos ensaios preliminares de flotação, foram realizados uma série de ensaios em bancada, na qual utilizou-se ácido oléico como coletor na flotação. Esses ensaios tiveram por objeto verificar em que dosagem e em que pH o ácido oléico apresenta melhor desempenho (flotabilidade de minerais portadores de ferro) em termos de recuperação (mássica e metalúrgica) e teor de Fe₂O₃ remanescente no concentrado de feldspato obtido. Os gráficos das Figuras 5 e 6 apresentam os resultados desses ensaios.

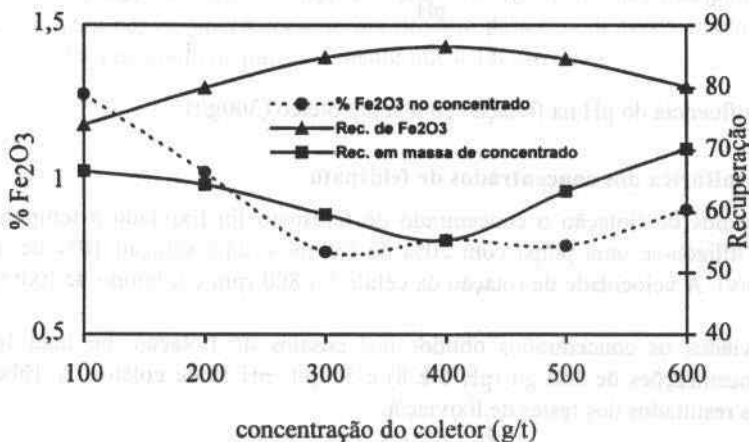


Figura 5 - Influência da dosagem do coletor (ácido oléico) na flotabilidade dos minerais portadores de ferro

Os resultados apresentados no gráfico da Figura 5 mostram que a melhor condição de flotabilidade ocorrem na dosagem de 300 g/t, apresentando teores de Fe_2O_3 , recuperação metalúrgica (Fe_2O_3) e recuperação em massa de feldspato de 0,77%, 85% e 60% respectivamente. Essa série de ensaios foi realizada no pH natural da polpa (7,8 a 8,1), antes da adição do coletor.

Através do gráfico da Figura 6, verifica-se que em pH 6 ocorreu uma boa recuperação metalúrgica (90,2%), bem como teores em Fe_2O_3 de 0,63% no concentrado, mas uma recuperação em massa baixa (52,5%). As melhores condições de flotabilidade, nesta série de ensaios, encontram-se em pH 8, isto é, próximos ao pH inicial (7,8 a 8,1). Essa série de ensaios foi realizada com uma dosagem de ácido oléico de 300 g/t.

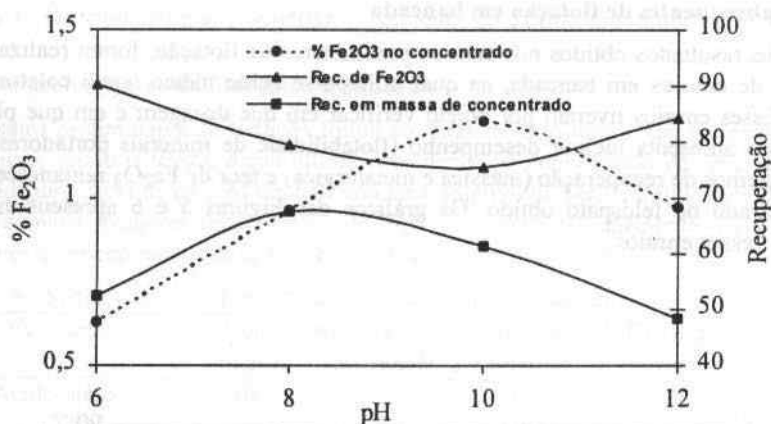


Figura 6 - Influência do pH na flotação com ácido oléico (300g/t)

Lixiviação sulfúrica dos concentrados de feldspato

Após os ensaios de flotação o concentrado de feldspato foi lixiviado à temperatura ambiente. Utilizou-se uma polpa com 20% de sólidos e uma solução 10% de ácido sulfúrico (v/v). A velocidade de rotação da célula foi 800 rpm e o tempo de lixiviação foi 90 min.

Foram lixiviados os concentrados obtidos nos ensaios de flotação, no qual foram dosadas concentrações de 300 g/t (pH 6 e 8) e 500g/t (pH 8) de coletor. A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de lixiviação.

Tabela 5 - Resultados dos testes de lixiviação

coletor (ácido oléico)		% Fe ₂ O ₃	
concentração	pH	antes da lixiviação	após a liviação
300 g/t	8	0,77	0,34
500 g/t	8	0,79	0,35
300 g/t	6	0,63	0,31

A lixiviação dos concentrados obtidos na etapa de flotação possibilitou uma remoção adicional dos minerais ferrosos solúveis no ácido sulfúrico, possibilitando, assim, uma purificação complementar desse material. A remoção de Fe₂O₃ nessa etapa foi ~ 45%.

CONCLUSÕES

Os finos de nefelina sienito menor que 9 mm são constituídos em sua grande maioria (90%) por feldspatos, e apresentam teores de alcális (Na₂O+K₂O) >12%, que são suficientes para o seu aproveitamento em processos cerâmicos e teores de Fe₂O₃ de 3,3% necessitando de uma etapa de beneficiamento para purificação.

É necessário uma etapa de moagem para liberação da pirita e óxidos de ferro (principais contaminantes) na granulometria de 104 µm. Nos estudos realizados, para se atingir essa granulometria, foi necessário um tempo de 40 min, nas condições descritas na metodologia.

O processo utilizado para produção do concentrado de feldspato com 0,77% em Fe₂O₃, foi alcançado através de uma etapa de flotação *rougher* e uma etapa de limpeza *scavenger*, utilizando-se ácido oléico como coletor (300g/t) e MIBC como espumante (100 g/t). A recuperação em massa nessas condições foi de 60%.

A etapa de lixiviação propiciou um concentrado final de feldspato com 0,3% Fe₂O₃, que é satisfatório para uso em massas cerâmicas (>0,5%), mas que ainda não é o suficiente para ser enquadrado como um produto para fins de recobrimento cerâmico (esmalte), cujo requisito de pureza é menor que 0,1% em Fe₂O₃.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORBA, C. D. G. Estudo de matérias-primas fundentes. Cerâmica Industrial n.1, v.1, p. 34-39, mar/abr. 1996.
2. AUMOND, J. J., SCHEIBE, L. F. O Fonolito de Lages - SC, um novo fundente. Cerâmica Industrial, n. 1/2, p. 17-21, maio/jun. 1996.
3. GUILLET, R. G. Nepheline syenite. In: INDUSTRIAL Minerals and Rocks 6. Ed. Colorado: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.,1994. 1196 p. p.
4. MOREIRA, M. D. Aplicações dos minerais e rochas industriais. Salvador, Bahia. Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. 86 p.
5. NEUMANN, R. e NETO, A. A . Caracterização Tecnológica de Nefelina Sienito. Rio de Janeiro, CETEM, nov./ mar. 1996.
6. BRAGA, P.F.A. ; SAMPAIO, J.A. Beneficiation of Fine Feldspar From Stone Quarry. In: SOUTHERN HEMISPHERE MEETING ON MINERAL TECHNOLOGY, 5, May 6-9, 1997, Buenos Aires, Argentina, p. 121-124.
7. PORPHÍRIO, N. H. Relatório técnico elaborado para Pedreira Vigné. Rio de Janeiro, CETEM, maio 1985. 17p. (Relatório técnico, 22).
8. DENVER. laboratory equipment .Bulletin,(n. LG3-B15). 67 p.
9. CYTEC Aero xanthate Handbook. Aero xanthate Products. American Cyanamid Company,p.40, 1972.

STUDIES ON FELDSPAR ORE DRESSING FROM ALKALINE ROCKS

Paulo Fernando Almeida Braga²
João Alves Sampaio³
Laurindo de Salles Leal Filho⁴

ABSTRACT

In the flintstone production for the civil construction segment, a fine fraction with particle size lower than 9.0 mm which has no commercial use, is generated as a by product from the grinding process. This fine fraction, when coming from alkaline rocks as the nepheline syenite, is an important source of feldspar.

The present work describes a study conducted in order to obtain a feldspar concentrate with low iron ($<0.5\% \text{Fe}_2\text{O}_3$) but enough alkali ($>12\% \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) which finds use in the ceramic industry.

This study consists, first of mineral-chemical characterization and rod mill grinding, flotation and afterwards acid leaching tests.

The original sample presented a Fe_2O_3 content of 3.3% determined by chemical analysis characterized as pyrite, iron oxi/hydroxide (limonite) and biotite.

After flotation with oleic acid as collector, and sulfuric leaching, it was possible to obtain a feldspar concentrate with 0.3% Fe_2O_3 in a 60% weight recovery.

Key words: nepheline syenite, feldspar, flotation